# GRAVITACIONI TRANSPORTERI

- Ako između mesta utovara i istovara postoji odgovarajuća visinska razlika, za realizaciju prostorne promene nije neophodna mehanička energija već se može iskoristiti sila gravitacije.
- *Gravitacioni transporteri se izvode sa pravom ili prostornom (spiralnom) stazom*. Kombinovanjem različitih tehničkih elemenata relativno jednostavno se mogu izvesti gravitacione transportne staze složene strukture sa spajanjem i razdvajanjem transportnih staza preko skretnica i sa automatskim upravljanjem.

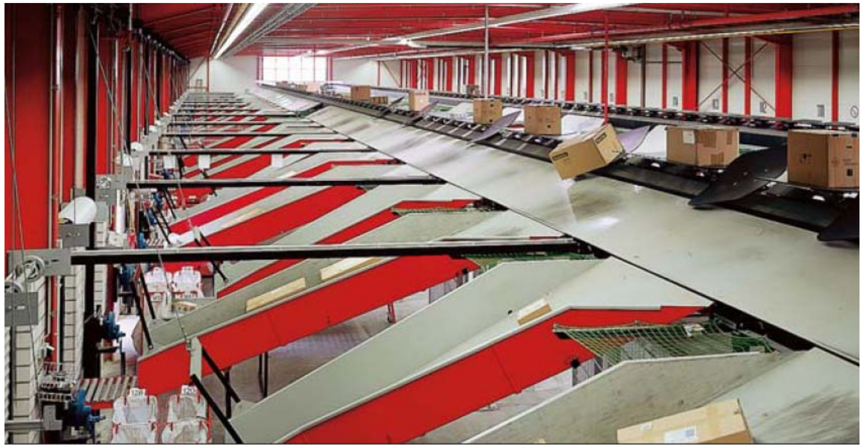
## KLASIFIKACIJA GRAVITACIONIH TRANSPORTERA

Gravitacioni transporteri

- **Pravolinijska kliznica**
- **Spiralne kliznice**
- **Gravitacione vertikalne cevi**
- **Pneumatska kliznica**
- **Valjkasti transporter**

- ***Kliznice*** pedstavljaju najjednostavniji oblik gravitacionog transportera i sastoje se od oluka koji se izrađuje od čeličnog lima i drugih pogodnih materijala, a prema obliku mogu da budu prave ili spiralne. Primenjuju se masovno za transport  rasute i komadne robe.

## ❑ *Pravolinijske kliznice*









- ***Spiralne kliznice*** koriste se za osetljivu robu u uslovima gde je velika visinska razlika i kod ograničenih prostornih mogućnosti.

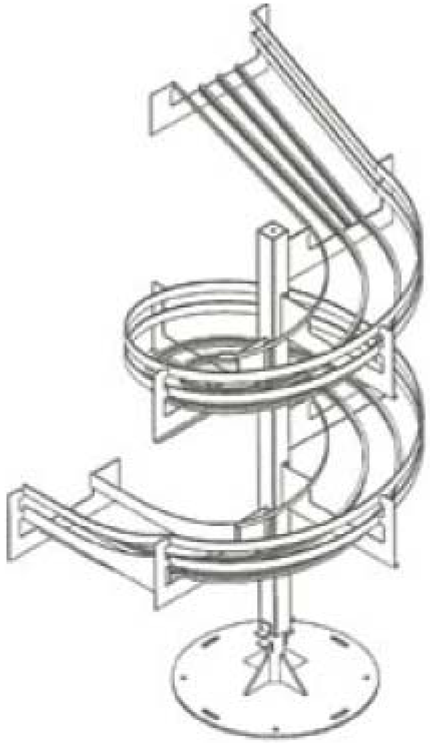




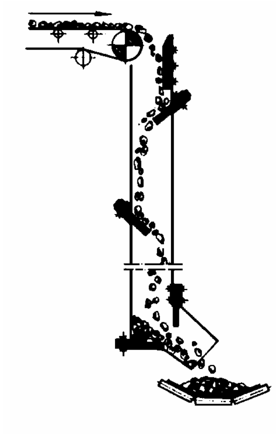
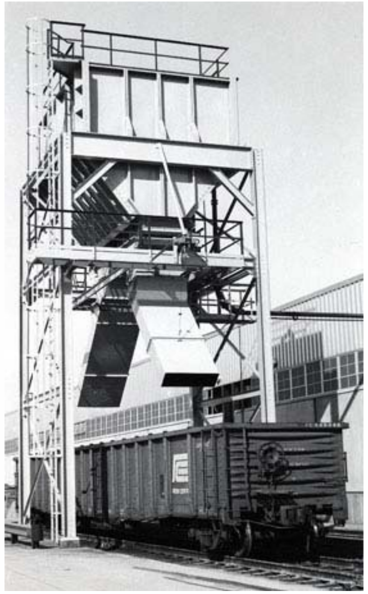




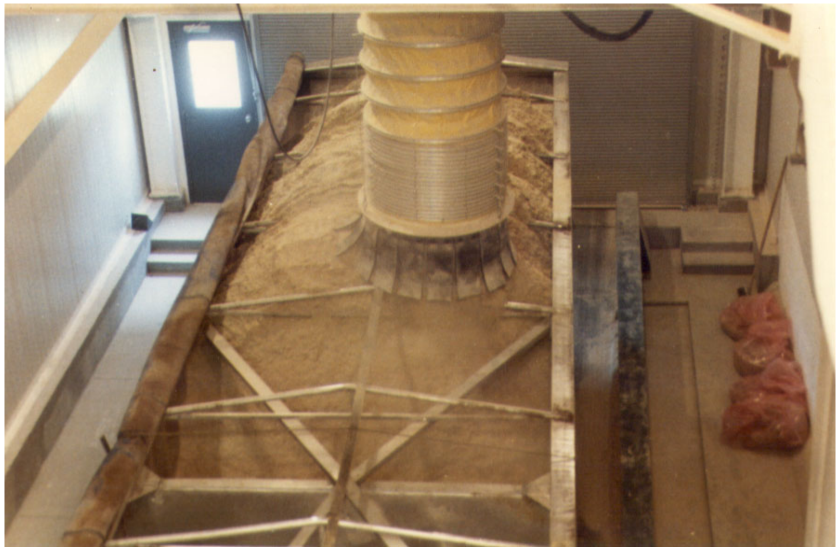




- ***Gravitacione vertikalne cevi*** mogu se primeniti samo kod robe koja nije osetljiva na udare i kod koje usitnjavanje ne dovodi do promene kvaliteta.



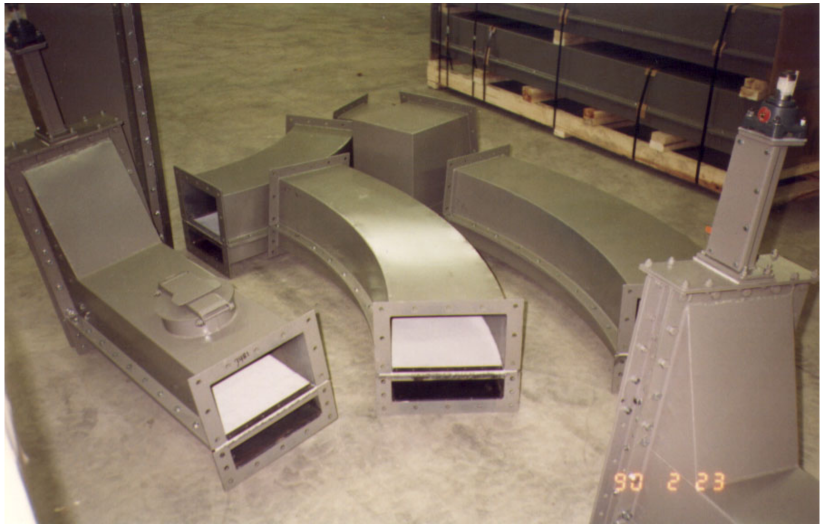


❑ ***Pneumatske kliznice*** su specifičan oblik gravitacionog transportera kod koga se, zbog smanjenja trenja, između kliznice i tereta formira vazdušni film.

❑ Zahvaljujući filmu vazduha materijal lebdi, tako da je pri nagibu od 2 do 18% komponenta gravitacione sile dovoljna da savlada otpore kretanja materijala. Pneumatskom kliznicim se mogu transportovati prašinasti i suvi sitnozrnasti materijali ujednačene krupnoće.

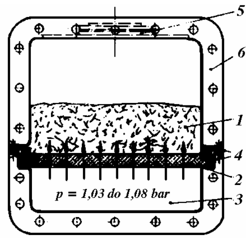
❑ Kliznica se sastoji od zatvorenog oluka koji je podeljen poroznom pregradom od: porozne keramike, porozne gume, sinter metala, tkanine ili plastike.

❑ U donju komoru se uduvava vazduh (obično preko kompresora sa rotacionim klipovima, od 1,03 do 1,08 bar apsolutnog pritiska), koji struji kroz poroznu pregradu na kojoj leži materijal.







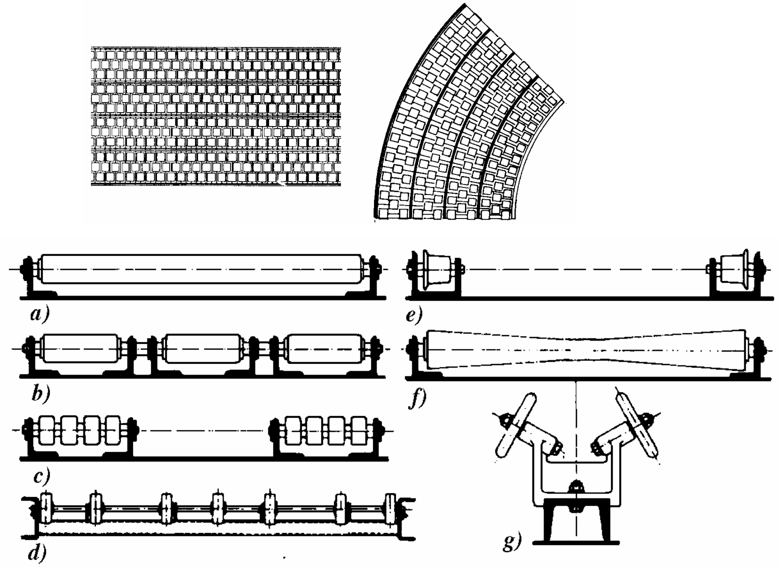


- Klizne staze imaju obično koritast profil koji može biti
  - trapezni,
  - polukružni,
  - eliptični i
  - paraboličan
- Kliznice se izrađuju od čeličnog lima velike tvrdoće, a koristi se takođe liv i tvrdo drvo. Gornja površina kliznice treba bude veoma glatka, da bi se smanjio otpor kretanja i oštećenje robe. Kod abrazivnih materijala (uglja, rude, livenih delova i dr.) klizna površina se oblaže bazaltom.
- Obloga kliznice u rudnicima kamenog uglja do obnavljanja može da izdrži transport do dva miliona tona. U prehrambenoj industriji za oblaganje i izradu kliznica koristi se plastika i polietilen.
- Komadana i rasuta roba koja nije prašinasta transportuje se otvorenim koritastim kliznicama sa stubom u centru a za prašinastu robu koriste se spiralne kliznice smeštene u cev relativno velikog prečnika Njima se može ostvariti (kod transporta vreća, kutija) kapacitet i do 2000 jedinica na čas, a kod transporta rasute robe sa spiralnim kliznicama smeštenim u cev kapacitet od 200 do 500 t/h.

***Primena, dobre i loše osobine***

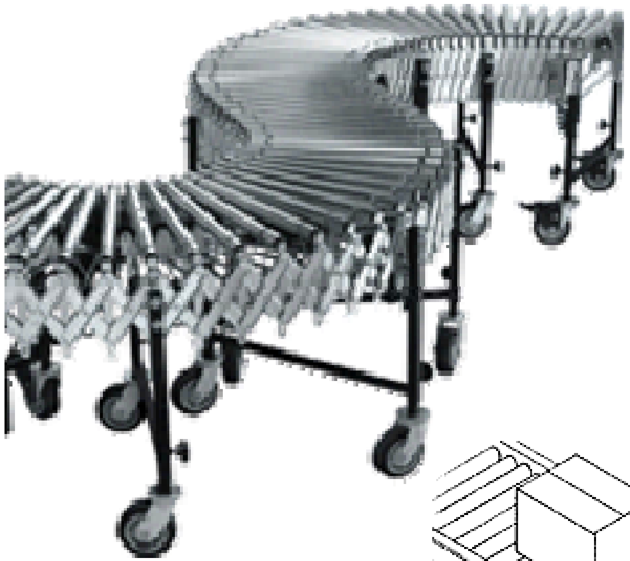
- Gravitacione kliznice su veoma jednostavne konstrukcije, ne zahtevaju intenzivno tehničko održavanje, ne troše mehaničku energiju, i kao takve predstavljaju sa ekonomskog stanovišta veoma jeftino pretovarno sredstvo. Zbog toga nalaze široku primenu u svim privrednim oblastima kao sredstvo za transport i formiranje pufera (bafera) robe.
- Osnovni nedostatak gravitacionih transportera je otežano precizno regulisanje brzine kretanja materijala, što može da ima za posledicu oštećenje robe, kao i habanje klizne površine.

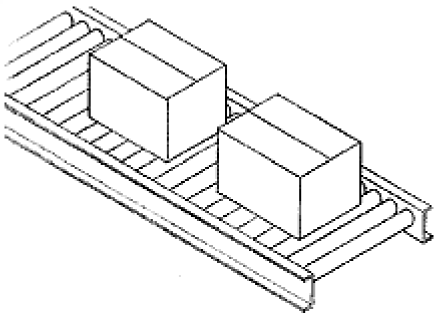
- ***Valjkasti transporteri*** namenjeni su za transport komadne robe prizmatičnog oblika, cilindričnog oblika (burad i sl.), a njima se može transportovati i rasuta roba u odgovarajućim posudama, kao i komadi nepravilnog oblika kada se postave na ravnu podlogu ili stave u kontener.
- Pored gravitacionih valjkastih transportera u proizvodnim procesima koriste se valjkasti transporteri sa manuelnim potiskivanjem tereta, kao i valjkasti transporteri sa mehaničkim pogonom.
- Kod valjkastih transportera teret ne klizi kao kod kliznice, već leži na elementima koji rotiraju, čime je otpor trenja klizanja zamenjen
  - otporom kotrljanja i
  - otporom trenja u ležaju valjaka
- Suštinska razlika je upravo u pozitivnim efektu koji iz toga proizilazi. Zbog znatno manjeg otpora kretanja, potreban nagib staze u odnosu na kliznice je neuporedivo manji i kreće se od 1 do 7 %.



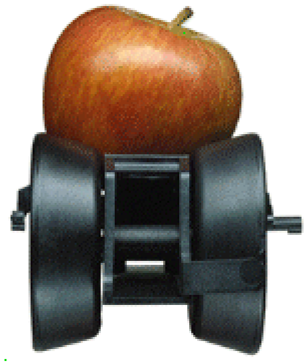



- Gravitacioni transporteri sa rolnama koriste se za lake terete, a zbog manjeg otpora inercije koji je posledica manje mase rotirajućih delova, ovaj oblik transportera zahteva manje nagibe u odnosu na varijante transportera sa valjcima. Pored toga, njima se lakše izvode horizintalne krivine, lakša je montaža, a zbog relativno male mase čitave konstrukcije mogu da se izvode kao prenosni i pokretni transporteri, kada se obično koriste kao utovarno - istovarna sredstva na pretovarnim fronovima.



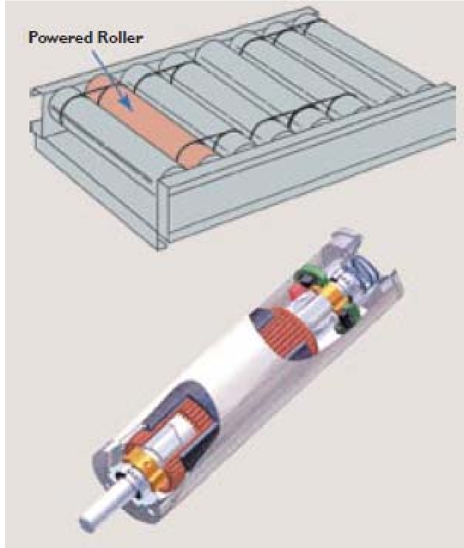






- Regulacija brzine se kod gravitacionih valjkastih transportera ne ostvaruje samo izborom ugla nagiba staze transportera, već se često koriste i kočioni valjci (u kojima je ugrađen kočioni mehanizam) i koji se postavljaju u kritičnim tačkama duž transportera.

- Pogonjeni valjkasti transporteri koriste se za horizontalan i kos transport pod malim nagibom. Za pogon valjaka primenjuju se različite tehničke koncepcije: sa motorom ugrađenim u valjak i sa grupnim pogonom, kada jedan motor preko transmisije pogoni više valjaka.




















## Primena, dobre i loše osobine

- Valjkasti transporteri zbog svoje jednostavne konstrukcije i niskih troškova eksploatacije nalaze široku primenu u raznim oblastima industrije, distributivnim centrima i skladištima. Oni se po pravilu proizvode u modularnoj tehnici, a kombinovanjem odgovarajućih modula, posebno u robno-distributivnim centrima, mogu da imaju veoma složenu strukturu. Modularna tehnika obezbeđuje jednostavno prilagođavanje različitim zahtevima.
- Brzina, a time i kapacitet zavise od: nagiba staze, težine, tvrdoće i glatkoće površine robe (paketa), stanja ležajeva valjaka, odnosno rolni kao i od uslova koji vladaju u okruženju (vlažnost, temperatura i zaprašenost okoline). Uprkos niza dobrih osobina ovih transportera, efektivnost kompeksnih sistema bitno zavisi od kvaliteta projektovanja sistema.

# OSNOVNI ELEMENTI VALJKASTOG TRANSPORTERA

## Noseća konstrukcija

- Nosač valjaka, odnosno ram transportera izrađuje se u modularnoj tehnici sa tipiziranim dimenzijama i tako je konceptiran da obezbeđuje jednostavnu montažu. Elementi za oslanjanje ramova po pravilu imaju mogućnost podešavanja visine, što je neophodno radi podešavanja nagiba staze.
- Minimalno rastojanje između valjaka duž rama treba da bude najmanje 40% od dužine minimalne ivice paketa. Profili od koji se sastavljaju ramovi često su perforirani, tako da se po potrebi može menjati i razmak između valjaka.
- Kod povezivanja rama sa osovinom valjka osnovni zahtev je da veza sprečava rotaciju osovine valjka.

- Lučni elementi za skretanje izrađuju se kao moduli sa različitim uglovima skretanja. Asortiman modularnih obuhvata i široku gamu elemenata za grananje i skretanje tereta.

## Valjci

- Valjci i rolne su najvažniji elementi transportera. Od njihovog kvaliteta i pokretljivosti zavisi kvalitet funkcionisanja čitavog sistema. Da bi se ostvario što manji maseni moment inercije omotač valjaka treba da bude što je moguće lakši.
- Dimenzije valjaka su standardizovane. Presvlačenjem valjka plastikom i gumom smanjuje se buka pri radu transportera. Danas se najčešće koriste zatvoreni kuglični ležajevi sa trajnim podmazivanjem.
- Kočioni valjci koji se postavljaju na određenom rastojanju radi regulisanja brzine, izrađuju se obično sa centrifugalnom kočnicom.
- Specijalne konstrukcije mogu da imaju različit oblik (konusni, obrtni, kugličast) i koriste se na mestima skretanja.

## Ulivanje i izlivanje tereta

- Postavljanje jedinica tereta tj. paketa na valjkasti transporter realizuje se manuelno, a kod automatizovanih sistema koriste se i različiti oblici mehaničkih uređaja za postavljanje odnosno prelaženje.
- Kod izlivanja radi izjednačavanja tokova koriste se razni oblici uređaja koji imaju karakter pufera. Pored ovakvih rešenja koriste se takođe razni oblici mehaničkih uređaja za skidanje odnosno preuzimanje tereta sa transportera.

## Orijentacione vrednosti nagiba staze za različite pojavne oblike robe

- ≅ 1,5% – Čelični profili, lim, liveni delovi sa velikom i ravnom površinom naleganja, glatki plastični delovi,
- ≅ 2,0% – Sanduci sa ravnim dnom, glatke ploče,
- ≅ 2,5% – Sivi liv i liveni delovi,
- do 4,0% – Opeke, bazaltne ploče, sanduci sa neravnim dnom i kutije
- do 7,0% – Laka roba sa neravnim dnom.

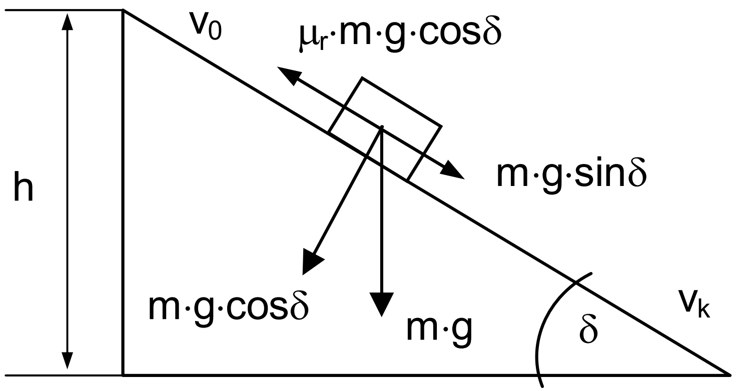
*U krivinama nagib se povećava za oko 2%.*

## TRANSPORTNI KAPACITET

- Mada se u ovoj kategoriji transportera nalazi veliki broj konstruktivnih rešenja (pravolinijske kliznice, spiralne kliznice, gravitacione cevi, pneumatske kliznice i valjkasti transporteri), koji se, u zavisnosti od tipa mogu koristiti za transport rasutih, komadnih, ili i jednih i drugih materijala, način proračuna transportnog kapaciteta baziran je na istim principima i svodi se na primenu standardnih izraza

$$Q_K = 3600 \cdot \frac{v}{l} \left[ \text{kom/h} \right] \quad Q_K = 3600 \cdot F_m \cdot v \cdot \gamma_m \left[ t/h \right]$$

- Ono što proračun transportnog kapaciteta gravitacionih transportera ipak razlikuje od proračuna drugih kontinualnih transportera, to je potreba za utvrđivanjem srednje brzine tereta.
- Naime, s obzirom da ovi transporteri funkcionišu na principu strme ravni, u zavisnosti od odnosa koeficijenta trenja i nagiba, brzina materijala duž transportera može se menjati, pa se kao posledica toga stvara potreba za utvrđivanjem prosečne vrednosti na bazi koje je moguće utvrditi transportni kapacitet. Tako se za slučaj prikazan na slici, rešavanjem jednačine održanja energije dobija poznati izraz za brzinu tereta na kraju gravitacione kliznice.




- Dakle, sa slike sledi:

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v_k^2 - v_0^2}{2} + m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot \frac{h}{\sin\delta} \cdot \mu_r$$

odakle je brzinu tereta na kraju gravitacione kliznice:

$$v_k = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \mu_r \cdot ctg\delta)}$$

- Srednja brzina kretanja tereta po kliznici, može se utvrditi rešavanjem integrala:

$$\bar{v} = \frac{1}{h}\int_0^h \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \mu_r \cdot ctg\delta)}\, dh \Rightarrow \bar{v} = \frac{v_k^3 - v_0^3}{3 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \mu_r \cdot ctg\delta)}$$

- Iako prethodni izraz, daje tačnu vrednost srednje brzine tereta, u literaturi se preporučuje korišćenje aritmetičke sredine:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_k}{2}$$

- Oznake korišćene u prethodnim izrazima imaju sledeće značenje:

- $v_0$ [m/s] - brzina tereta na početku kliznice
- $v_k$ [m/s] - brzina tereta na kraju kliznice
- $\overline{v}$ [m/s] - srednja brzina tereta
- m [kg] - masa tereta
- g [m/s$^2$] - ubrzanje sile zemljine teže g = 9.81[m/s$^2$]
- h [m] - visina kliznice
- $\mu_r$[-] - koeficijent trenja između tereta i kliznice
- $\delta$ [$^o$] - ugao nagiba kliznice

- Tipične vrednosti nagiba kliznica kreću se izmedju 20$^o$ i 60$^o$, a neke od tipičnih vrednosti navedene su u tabeli.
- Ipak, kako koeficijent trenja između robe i površine kliznice varira u zavisnosti od temperature, vlažnosti, vrste materijala i klizne površine, date vrednosti treba prihvatiti kao orijentacione.

| VRSTA TERETA | NAGIB KLIZNICE [$^o$] |
|---|---|
| Džakovi | 25 ÷ 30 |
| Ugalj | 20 ÷ 30 |
| Žito | 30 ÷ 35 |
| Šljunak | 40 ÷ 50 |
| Građevinski materijal (šut) | 60 ÷ 80 |

- Prosečne brzine transporta materijala kliznicom kreću se u opsegu 0.5-1.5 m/s, a koeficijent popunjenosti površine poprečnog preseka materijala je $\psi_p \leq 0.6$. Pri tome treba imati u vidu da se u pretovarnim sistemima za komadne terete, posebno onda kada je prisutan i čovek, brzina tereta obično ograničava do 1 m/s.

- Kod spiralne kliznice je, pri detaljnijem proračunu, umesto normalne komponente težine tereta $m \cdot g \cdot \cos\delta$, potrebno u obzir uzeti rezultujuću silu koja se dobija kao vektorski zbir centrifugalne sile i normalne komponente $\vec{R}_N = \vec{C} + \vec{G}_N$, ali se zadovoljavajući rezultati mogu dobiti ukoliko se nagib i dužina računaju u odnosu na osu spiralne kliznice.
- Za razliku od kliznica, kod kojih se pri kretanju tereta javlja otpor trenja klizanja, kod valjkastih transportera se pri kretanju tereta javlja otpor kotrljanja i otpor trenja u ležajevima valjaka. Ova činjenica ujedno predstavlja i osnovnu prednost valjkastih transportera u odnosu na kliznice, jer su otpori znatno manji nego kod kliznica. U skladu sa tim i nagib trase valjkastih transportera je znatno manji i kreće se od 1 do 7%, odnosno 0.6º do 4º.
- Zbog prisustva otpora kotrljanja i otpora trenja u ležajevima valjaka, koeficijent trenja $\mu_r$ u jednačini održanja energije menja se koeficijentom ukupnih otpora $\omega$, koji se utvrđuje na bazi proračuna pojedinačnih otpora valjkastog transportera.
- Otpori koji se javljaju pri nailasku tereta na jedan valjak jesu sledeći:

1.***Otpor ustaljenog kretanja*** $W'_C$ (kotrljanje i trenje u ležajevima)

$$W'_C = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot f_R}{d_t} + \frac{(m + n_1 \cdot m_o) \cdot g \cdot \mu_z \cdot d_z}{d_t} \qquad [N]$$

Međutim, s obzirom da se valjkasti transporteri koriste za uglove nagiba koji su izuzetno mali (od 1 do 7%) to se prethodni izraz može uprostiti i dovesti do praktično primenjivog oblika, aproksimacijom $\cos\delta \cong 1$

$$W'_C = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot f_R}{d_t} + \frac{(m + n_1 \cdot m_o) \cdot g \cdot \mu_z \cdot d_z}{d_t} \qquad [N]$$

***2.Otpor ubrzanja*** $W_{in}$ (inercija)

$$W_{in} = m \cdot \frac{v_k - v_0}{t} \qquad [N]$$

Koji se javlja pri velikim uglovima nagiba *δ,* i po pravilu zanemaruje.

***3.Otpor ubrzanja rotacionih masa*** $W_{rot}$ (klizanje i izgubljena kinetička energija)

$$W_{rot} = \frac{k_2 \cdot m_o \cdot \bar{v}^2}{2 \cdot l_o} \qquad [N]$$

Gde su:

- m [N] – masa jedinice tereta na valjkastom transporteru
- $f_R$ [cm] – krak otpora kotrljanja
- $d_T$ [cm] – prečnik valjka
- $n_1$ [-] – broj jednovremeno opterećenih valjaka (najmanje 3)
- $m_o$[N] – masa obrtnog dela valjka
- $\mu_z$ [-] – koeficijent trenja u ležaju
- $d_z$ [cm] – prečnik rukavca valjka
- t [s] – period opservacije
- $k_2$ – faktor kojim se izražava odnos ukupne mase valjka i dela koji rotira
- $l_o$ [m] – rastojanje između valjaka

Ukupan koeficijent otpora ω se u zavisnosti od režima kretanja tereta utvrđuje za dva slučaja:

***I SLUČAJ*** - komadi tereta se kreću u gustom toku, tako da se valjci stalno nalaze u stanju rotacije:

$$\omega = \frac{W'_C + W_{in}}{m \cdot g}$$ , odnosno, ako je $W_{in} \cong 0$, $$\omega = \frac{W'_C}{m \cdot g}$$

***II SLUČAJ*** - rastojanja između komada tereta su velika i različita, tako da zbog dejstva otpora u ležajevima valjaka, dolazi do njihovog zaustavljanja.

$$\omega = \frac{W'_C + W_{in} + 2 \cdot W_{rot}}{m \cdot g}$$ ,odnosno, ako je $W_{in} \cong 0$, $$\omega = \frac{W'_C + 2 \cdot W_{rot}}{m \cdot g}$$

- Unekoliko drugačiji, mada u suštini veoma sličan pristup proračunu valjkastih gravitacionih transportera navodi (Pfeifer i dr. 1998), koristeći jednačinu održanja energije u sledećem obliku:

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot g \cdot \cos\delta \cdot f_R}{\frac{d_T}{2}} \cdot \frac{h}{\sin\delta} + \frac{(m + n_1 \cdot m_o) \cdot g \cdot \cos\delta}{\frac{d_T}{2}} \cdot \mu_Z \cdot \frac{d_z}{2} \cdot \frac{h}{\sin\delta} + 2 \cdot \frac{m_o}{2}(v_k^2 - v_o^2) \cdot z$$

- U prethodnom izrazu, pored već opisanih parametara, z predstavlja ukupan broj valjka na transporteru. Kod primene prethodnog izraza preporučuje se vrednost $f_R \cong 1$ mm, a za koeficijent trenja kod kotrljajućih ležajeva $\mu_Z = 0.002 \div 0.01$.
- Na bazi prethodnih pristupa, imajući naravno u vidu činjenicu da su valjkasti gravitacioni transporteri, za razliku od kliznica, namenjeni isključivo transportu komadnih tereta, moguće je utvrditi transportne kapacitete, odnosno potrebne nagibe transportera.

- Za razliku od izloženih pristupa, baziranih prevashodno na teorijiskim postavkama, u anglosaksonskoj literaturi dimenzionisanje valjkastih gravitacionih transportera po pravilu se bazira na preporučenim vrednostima nagiba i brzina tereta na transporteru.
- Tako se u literaturi navode sledeći standardni nagibi transportera, u funkciji od mase tereta koji se transportuje. Takođe se preporučuje da se u krivinama nagib poveća za oko 75% u odnosu na vrednosti date u tabeli.

Standardni nagibi valjkastog gravitacionog transportera

| MASA TERETA [kg] | NAGIB TRANSPORTERA [%] |
|---:|---:|
| 4 - 7 | 4.6 – 5.4 |
| 7 - 23 | 3.1 – 3.9 |
| 23 - 55 | 2.3 – 3.1 |
| 55 - 110 | 1.6 – 2.3 |

- U priručniku za rukovanje materijalom (Kulwiec 1985) navodi se podatak o srednjoj vrednosti nagiba valjkastog transportera od 4.2 %, pri čemu tu vrednost za lakše terete treba povećati, a smanjiti ukoliko je reč o težim teretima.

**Metod proračuna snage preko ukupnog koeficijenta otpora (Pfeifer i dr. 1998)**

- Za slučaj pogonjenih valjkastih transportera pristup baziran na ukupnom koeficijentu otpora podrazumeva utvrđivanje ukupnih otpora kao:

$$\sum W = \mu_{UK} \cdot L \cdot \cos\delta \cdot (m + m_m) \cdot g \pm m \cdot g \cdot H \, [N]$$

- Za koeficijent $\mu_{UK}$ u gornjem izrazu preporučuju se vrednosti $\mu_{UK} = 0.03 \div 0.06$, a $m_m$ se odnosi na masu rotirajućih delova valjaka po dužnom metru. Kao i u prethodnim slučajevima, na bazi ovako utvrđenih ukupnih otpora, korišćenjem poznatog izraza utvrđuje se i snaga transportera.